
Análisis Solar

*Análisis de datos en bloque de siete estaciones de medición
de radiación solar en Almería*

Por

PABLO ALAPONT TOMÁS



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID**

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS Y PROGRAMACIÓN
FACULTAD DE INFORMÁTICA

Trabajo de Fin de Grado

Director:

Rafael Caballero Roldán

Colaborador externo:

Luis Fernandez Zarzalejo Tirado (CIEMAT)

2018 SEPTIEMBRE

Autorización para la difusión

Se autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, siempre no comerciales y mencionando expresamente a su autor. Tanto la memoria y documentación como el software y el trabajo realizado.

Pablo Alapont Tomás

Madrid, Agosto 2018

Este documento se distribuye bajo la licencia
Creative Commons BY-SA 4.0. Internacional.

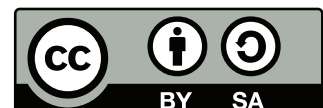
Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **CompartirIgual** — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la la misma licencia del original.

Este documento esta realizado bajo licencia Creative Commons “Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional”.



Agradecimientos

Hay quien toma su Trabajo Fin de Grado como un hecho aislado del currículo académico, para mí es el fin de unos estudios. Ya que se utilizan elementos de toda etapa universitaria, es justo que estos agradecimientos no reflejen sólo el trabajo presente, también el pasado.

Obligatorio el primer lugar, el mayor agradecimiento, el mas simple y mas directo es a Rafael Caballero Roldán, que ha sido mas cabezota que yo para que sacase este trabajo adelante. Uno solo necesita a alguien mas cabezota y es lo que he tenido delante.

Los que mas han sufrido con el grado han sido mis padres, Enrique Alapont y Teresa Tomás. Cada uno se merece la plena dedicatoria, pues cada uno se ha involucrado en este trabajo y en toda mi vida como buenos padres que son. Los dos han escuchado mis penas y me han dado consejo. Los dos han buscado motivarme para que terminase el trabajo de la mejor manera posible. Y los dos celebran mis logros y sufren de mis fallos. Al igual que han sufrido también mis progresos (para lo bueno y lo malo) han sido mis abuelos, que siendo padres por partida doble, se alegran y sufren por partida doble, se merecen pues el doble de agradecimientos.

ASCII guarda una deuda con quien ha ayudado en muchos trabajos de la carrera. Lo cual me incluye a mi. Siempre he intentado inculcar el valor de la colaboración y los socios hemos encontrado siempre a gente dispuesta a dar la mano. Especial mención la de Miguel de Andrés Herrero, fuente de sabiduría de muchas asignaturas, y de muchas manos con muchos proyectos.

Mónica Prieto ha sido esa persona que aparece en la vida de rebote sin mas relación que una amistad de tercer grado de separación. Si aparece en los agradecimientos es porque me fui a Finlandia prácticamente por cómo me habló de Oulu, porque siempre ha estado ahí para mi para las tonterías y para las preocupaciones. Moni siempre ha sido capaz de tomarse la vida con alegría sin perder de vista el mundo que la rodea, una alegría que contagia a su alrededor y quiero creer que si me tomo la vida así es en parte por ella. *Paljon kiitoksia kaikesta.*

Así como Mónica apareció de rebote, Julia Betsabeth Pazmiño apareció de más rebote aún. Nos hemos acompañado desde que nos conocimos, a veces en el sentido mas literal, tirados en Hamburgo cuando se nos fueron los trenes al garete. Siempre puedo contar con ella para todo y siempre es divertido estar con ella. Es increíble como tiene que venir alguien de fuera a descubrirte tu propia ciudad.

Como tampoco conozco a nadie capaz de mover a la gente como David Pacios Izquierdo. Una persona capaz de mover masas de uno en uno. Una persona que sería capaz de dar

hasta su ropa sin esperar nada a cambio si ve a alguien que la necesita. Es increíble la motivación que puede generar esta persona, para este trabajo, para otros trabajos, para otras personas, y para la vida en general. Muchos tendrían que nacer siete veces para ser un séptimo de lo que vale Pascal

Vino la última persona en entrar en vida de las presentes en estas páginas. Sin embargo Leilase ha convertido en alguien muy importante para mi. Como dos idiotas que quieren remar en dirección contraria para jugar y acaban remando en la misma. Bill Murray dijo que sospecha de la gente a la que no le gustan los perros, pero que huía de la gente que no le gusta a los perros. Puede que se lleven bien.

El equipo de FdIST, especialmente José Luis Vazquez-Poletti y Juancarlos Fabero, que en no habiéndome tratado mejor que a nadie, me han tratado como de la familia. Han dado cuerda y en lugar de prevenirme de mis locuras me han ayudado a encauzarlas a buen puerto. Cualquier centro de enseñanza necesita docentes así.

Importante y especial es la mención de Pablo Caretti Perucha y Lita. Con Pablo todo empezó de broma, de esas que ni son bromas y duelen, yo con muletas y tu riéndote. Ni te conocía. Acabamos haciendo media vida juntos, acabamos siendo felices por el otro, acabamos siendo los que somos por el otro, acabamos preocupándonos por el otro. Si amo la música, que es lo que me mueve desde antes de ponerme las gafas hasta después de quitármelas, que es lo que me ha moldeado en mi forma de pensar y de ser, es por ti. Espero que hayas disfrutado de mi tanto como yo he disfrutado de ti. Siempre me acuerdo de ti y siempre te tengo presente.

Gracioso el momento años mas tarde me crucé con ella en una perrera, digo ella porque era un cachorro de podenco recién llegado a la perrera, sin nombre, sin vacunas ni microchip. Yo no la elegí, no era para mi. Pero el tiempo quiso que acabase viviendo conmigo. Aunque ya no estaba entre nosotros, se acabó viniendo conmigo a Finlandia y allá donde he estado. Recuerdo con mucho cariño a mi madre arrojando a la perra a mi cuarto un sábado por la mañana para despertarme. Ella, que no es tonta se subió a mi cama y se echó a dormir. A los 5 minutos una bola de pelo de 20Kg ocupaba mas cama que yo.

Habiendo mencionado a todos, y a los que me habré dejado por mencionar, pero que habéis estado ahí: Muchas gracias.

Sobre TEF_LON

TEFLON(CC BY-NC 4.0)[6] ES UNA PLANTILLA DE L^AT_EX CREADA POR DAVID PACIOS IZQUIERDO CON FECHA DE ENERO DE 2018. CON ATRIBUCIONES DE USO CC BY-NC

Esta plantilla fue desarrollada para facilitar la creación de documentación profesional para Trabajos de Fin de Grado o Trabajos de Fin de Máster. La versión usada es la 1.2.

V:1.2 OVERLEAF V2 WITH PDFL^AT_EX, MARGIN 1IN

Contacto

Autor: DAVID PACIOS IZQUIERO

Correo: DPACIOS@UCM.ES

ASCII: ASCIIIFDI@GMAIL.COM

DESPACHO 110 - FACULTAD DE INFORMÁTICA

Índice general

	Página
Resumen	13
Abstract	15
1. Introducción	19
1.1. Motivación	19
1.2. Objetivos	20
1.3. Metodología	21
1.4. Estructura de la obra	21
1. Introduction	22
1.1. Motivation	23
1.2. Objectives	24
1.3. Methodology	25
1.4. Structure of the work	25
2. Estado del arte	27
2.1. Mecanismos de decisión	27
2.1.1. Modelo de desarrollo	27
2.1.2. Lógica difusa, control difuso y variables lingüísticas	27
2.1.3. Inteligencia Artificial y mecanismos de decisión	28
2.1.4. Energía Termosolar	30
2.2. Herramientas	31
2.2.1. Transol 3	31
2.2.2. Piensa Solar	31
2.2.3. Sunny Portal	32
2.2.4. Matlab	32
2.2.5. Octave	32
2.3. Propuesta	32

3. Análisis del problema	33
3.1. Análisis de requisitos	33
3.1.1. Requisitos de la aplicación	33
3.1.2. Esquema general de funcionamiento de la aplicación	35
3.2. Análisis de las soluciones	35
3.2.1. Formato de los datos	36
3.2.2. Análisis de los datos	36
3.3. Solución propuesta	36
3.4. Colaboración	37
4. Diseño de la solución	39
4.1. Análisis de las herramientas	39
4.2. Arquitectura software	39
4.2.1. Estructura estática de la aplicación	40
4.2.2. Estructura dinámica del tipo de datos	40
4.2.3. Estructura de los trabajadores	41
5. Resultados	45
5.1. Discusión de resultados	46
5.1.1. Proceso de análisis	47
6. Conclusiones	49
6.1. Trabajadores	49
6.1.1. Printer	49
6.1.2. MinMax	49
6.1.3. Union	50
6.1.4. Delta	50
6.1.5. Csv-Maker	50
6.1.6. Main	50
6.2. Conclusiones generales	50
7. Trabajo futuros	53
7.1. Proyecto para campo de helióstatos	54
7. Future Work	54
7.1. Heliostatic Field Project	55
8. Bibliografía y enlaces de referencia	57

Índice de figuras

1.1.	Mapa de la radiación media de España.	20
1.2.	Mapa de la radiación media de Almería	20
1.3.	Distribución de la Planta Solar de Almería	21
1.4.	Mean solar radiation in Spain.	24
1.5.	MMean solar radiation in Almería	24
1.6.	Stations in Almería Solar Plant	25
2.1.	Modelo difuso de temperatura	28
2.2.	Watson participando en el concurso Jeopardy	29
2.3.	Kasparov Vs DeepBleu	30
2.4.	AlphaGo Vs Lee Sedol	30
3.1.	Esquema de trabajo	35
3.2.	Ejemplos para generar el árbol de decisiones	37
3.3.	Árbol de decisiones implementado en el programa	37
4.1.	Estructura estática	40
4.2.	Funcionamiento dinámico de creación de un Row	41
4.3.	Funcionamiento dinámico de añadir a datos a un Row	41
4.4.	Funcionamiento dinámico Worker.start()	42
4.5.	Funcionamiento dinámico de un Trabajador	43
4.6.	Funcionamiento dinámico de Union para agregar múltiples trabajadores .	44
4.7.	Funcionamiento dinámico de Union para mandar inputs a múltiples tra- bajadores	44
5.1.	Sección del archivo de salida con el resultado resaltado	45
5.2.	Rango de frecuencias(Eje:X) y su potencia (Eje:Y) anual para PSA . . .	46
5.3.	Representación de las cabeceras al importar un fichero de resultados . . .	46
5.4.	Última línea de ejecución de la aplicación	47
7.1.	Ejemplos para el árbol de decisiones	54
7.2.	Examples for the decision tree	55

Resumen

Análisis Solar es un conjunto de sistemas, de OpenSource desarrollados para Python. Están diseñados para ensamblarse con la mayor facilidad posible y proporcionar inteligencia sobre los datos medidos y tomar decisiones. Estas decisiones pueden acabar afectando a la operación de centrales energéticas o a instalaciones que dependan del estado de sistemas parametrizables.

Ésta aplicación permite desplegar en hardware modesto, redes conceptuales de análisis de datos sin necesidad de conocimientos complejos de informática. De forma que lo pueda hacer personal experto en el campo de estudio. Mostrando un ejemplo de uso.

El proyecto está disponible para su uso bajo licencia MIT en <http://github.com/Alapont/Solar> para cualquier persona interesada.

Palabras clave: METEOROLOGÍA, RED, ANÁLISIS DE DATOS

Abstract

Análisis Solar is a set of Open Source systems developed in Python. They are designed to be joined as easy as possible to provide intelligence over measurements. This allows to take decisions regarding operations in power plants or stations depending on parametric systems.

This system allows to deploy in modest hardware, data analysis networks, without the need of high level computer knowledge. This way, field experts could do it paying more attention to results than to deployment

The project is available under MIT license at <http://github.com/Alapont/Solar> for any interested person.

Palabras clave: METEOROLOGY, NETWORK DATA ANALYSIS

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Los dos grandes motores de la innovación del ser humano a lo largo de la historia han sido la transformación energética y la predicción del tiempo. A lo largo del tiempo hemos transformado la energía primero en calor, mas tarde en movimiento, en protección y actualmente en información. Igualmente ha ocurrido con desarrollo de la física para predecir del futuro, para analizar y entender el funcionamiento del mundo que nos rodea para saber qué pasará mañana. Hemos aprendido a saber si va a llover, si es correcto cultivar una planta u otra. Hemos calculado Si un puente será capaz de aguantar su propio peso, dónde caerá un proyectil y siendo mas exigentes si una casa podrá evitar el colapso en caso de incendio el tiempo suficiente para desalojarla o cual es la forma correcta de generar un medicamento para optimizar su efectividad.

Las necesidades energéticas son uno de los puntos clave de la supervivencia del ser humano. Así lo declara la Organización de las Naciones Unidas [10] en su política energética para el S.XXI Conseguir fuentes de energía limpias, duraderas y óptimas es primordial[3]. La Unión Europea declara también primordial la investigación de materiales a la hora de mejorar la eficiencia energética [1]. Para aprovechar de la mejor manera posible las fuentes energéticas es necesario obtener y analizar información del entorno con el fin de afinar y calibrar el funcionamiento de las centrales energéticas. De esta forma se mejora el funcionamiento de estas centrales y se reduce su mantenimiento. Alargando la vida útil y mejorando la viabilidad económica.

La planta solar de Almería es un centro de estudio de actividades de concentración solar bajo el paraguas del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Sus áreas de estudio son la Tecnología solar de concentración, el almacenamiento térmico y combustibles solares, la desalación solar y el tratamiento solar del agua. Se encuentra en un lugar privilegiado, siendo el sur de España una de las mayores fuentes de radiación solar alcanzando los $5,4kW/m^2$

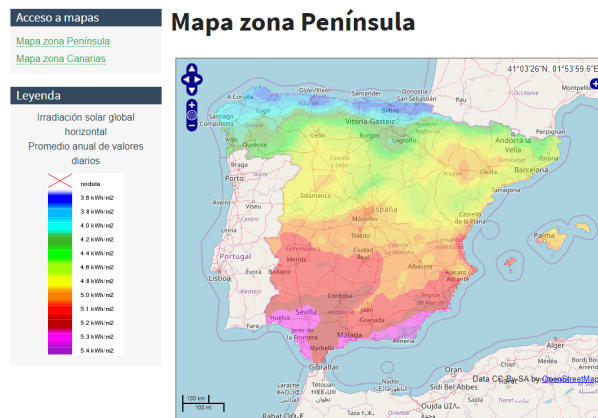


Figura 1.1: Mapa de la radiación media de España.

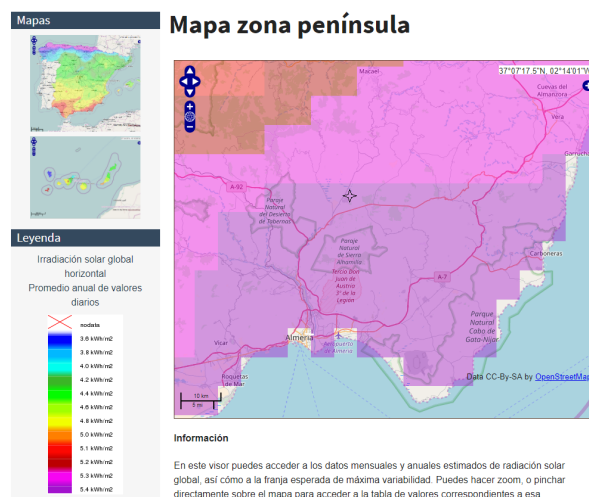


Figura 1.2: Mapa de la radiación media de Almería

La localización Plataforma Solar de Almería aparece marcada en el centro.

1

Se realizan numerosos estudios en ATYCOS sobre almacenamiento de energía solar. En la planta solar de Almería se realizan también estudios sobre almacenamiento térmico y químico o sobre producción energética. Todos estos estudios, pueden desplazar al carbón como fuente de energía barata en países en desarrollo [8].

Nos interesa el funcionamiento en general de las centrales de Torre y en particular de la central CESA-I. Consisten en una serie de espejos llamados heliostatos que siguen el movimiento del sol y concentran la radiación en un punto de una torre. En el caso de CESA-I es un punto de 2.8m en una torre de 80m de alto. También incorpora una cavidad a 45m para probar materiales en un horno solar, una cavidad a 60m con un calorímetro y una cavidad multipropósito a 75m. Igualmente la instalación incluye dos turbinas de 1.2MW diseñadas para trabajar con vapor a 793K y 10 MPa.[14]

Es muy fácil encontrar estudios sobre lo encontrado en gran variedad de sensores y campos. Pero es muy difícil encontrar estudios que relacionen eventos en diferentes instrumentos de un satélite en el espacio, o en múltiples estaciones repartidas por cualquier área geográfica. Proponiendo aquí un método de aunar diferentes datos de diferentes estaciones para lograr lecturas en su conjunto.

Con este trabajo queremos proporcionar un sistema que facilite el uso de centrales energéticas, ya que un uso mas fácil revierte en un despliegue mas barato y de mayor calidad.

1.2. Objetivos

El fin del trabajo es proporcionar una plataforma de análisis de datos meteorológicos con el que poder tomar decisiones. En este caso partimos de los datos de 7 estaciones meteorológicas capaces de medir la incidencia de radiación solar por unidad de área en la

zona de la Planta Solar de Almería. Otorgándonos unos datos reales sobre los que aplicar nuestro estudio.

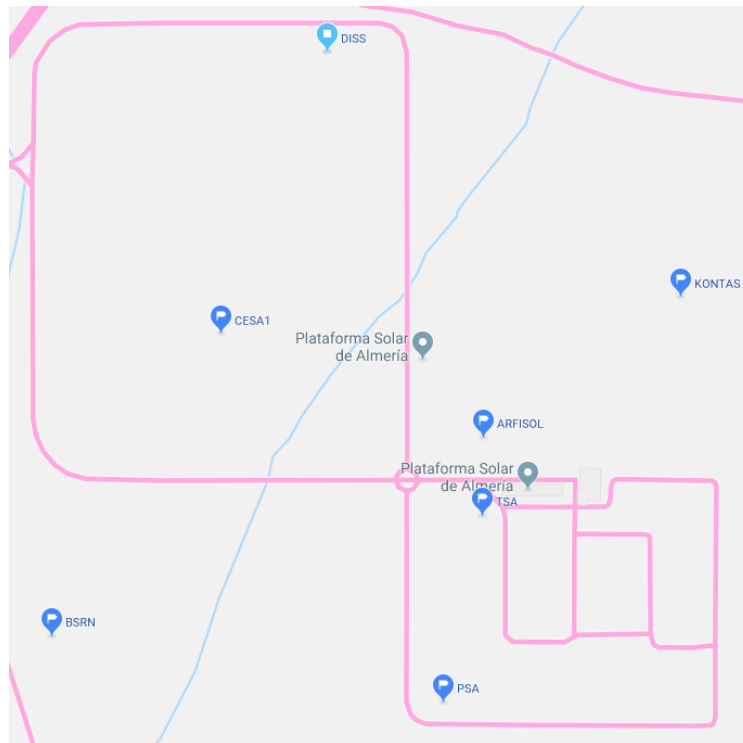


Figura 1.3: Distribución de la Planta Solar de Almería, Localización de las diferentes estaciones de la Planta Solar de Almería.

Se ha tratado de leer secuencialmente las lecturas de diferentes estaciones. El fin en este caso es el de detectar el estado del cielo y sus artefactos para ajustar la incidencia de la luz solar en la caldera de la central y reducir su fatiga. [2]

1.3. Metodología

Para ello hemos realizado un sistema capaz de analizar, tratar, contextualizar, mostrar y preparar datos unificados de varias fuentes y ponerlos relativos en el tiempo con el fin de evaluarlos y sacar conclusiones del estado del tiempo. Se ha optado por dividir las funcionalidades en subsistemas como buena praxis ya que, a parte de permitir un correcto testeo y desarrollo, también fomenta la creación de un sistema de módulos fácilmente reprogramable y ampliable.

1.4. Estructura de la obra

- **Capítulo 1: Introducción.** Dentro de este capítulo se explica la motivación para hacer el trabajo, la metodología de trabajo aplicada y un breve resumen de lo que se va a proceder a relatar en cada capítulo.
- **Capítulo 2: Estado del arte.** Aquí se van a explicar las distintas tecnologías existentes en el mercado para justificar un vacío en el conocimiento para el uso de

la herramienta, también se van a explicar distintos conceptos relativos a la energía, concretamente a la solar, para tener un contexto adecuado para poder seguir la documentación.

- **Capítulo 3:Análisis del problema.** Se procede a ver el vacío que hay antes de la aplicación y generar espacios de uso para la herramienta, para proceder a hacer un análisis de soluciones.
- **Capítulo 4:Diseño de la solución.** Estructura y datos relativos a la creación y desarrollo de la aplicación, y su posterior análisis.
- **Capítulo 5:Resultados.** Una vez realizado el análisis, comentar los datos analizados y usos que se les puede dar.
- **Capítulo 6:Conclusiones.** Después de realizar todo el trabajo, se procede a analizar con detenimiento el uso de estos datos y la herramienta una vez terminado el proyecto.
- **Capítulo 7:Trabajo futuro.** En este capítulo se propondrán distintos usos de la escalabilidad de la herramienta, para ver que se puede escalar y para proceder al tener mayor tiempo, se realizaría mayor trabajo con distintas funcionalidades.

Notes

¹Mapa interactivo de incidencia solar de España, <http://www.adrase.com/acceso-a-los-mapas/mapa-zona-peninsula.html>

Chapter 1

Introduction

1.1. Motivation

The human being has had two main motivations for innovation in its existence: Energy transformation and forecasting. Energy to heat, to move, to protect against foes and attack enemies and to process data. Physics is the science of prediction. Analysing and understanding the world around is key to know what will happen tomorrow, to know if it will rain, if it's right to grow one crop or another, if a bridge will resist collapsing under its own weight, where will a projectile land, if a family will be able to escape a burning house before burning down or the right dosage in a drug.

Meeting the energetic needs is paramount for human survival. It is said in the United Nations [10] it is energy politics for the 21st century. Achieving clean, durable and optimal energy sources is pivotal [3]. The European Union recognises investment in materials capital to achieve energy efficiency [1]. To take advantage of energy sources is preeminent to obtain and analyse information from the environment to tune and calibrate power plants performance. This way power plants performance improves and maintenance gets reduced, lengthening the plants life and improving economic viability.

Almería Solar Plant (PSA in Spanish) is a center for the study of solar concentration activities depending on the Energy, Environmental and Technological Studies Center (CIE-MAT in Spanish). Developing technology in Solar concentration, storage, solar fuels, water desalination and solar water treatment. It is located in a privileged place, having in the south of Spain a high solar radiation, reaching $5,4 \text{ kW/m}^2$

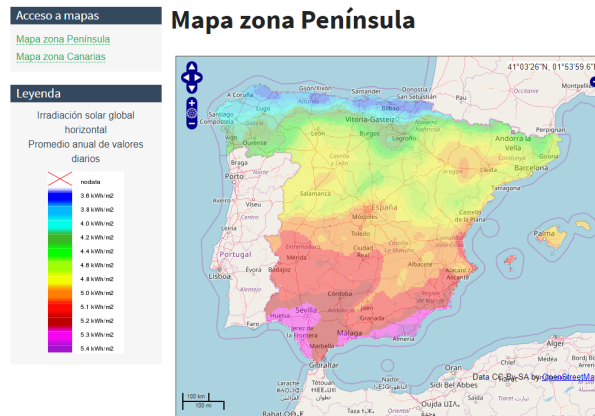


Figura 1.4: Mean solar radiation in Spain.

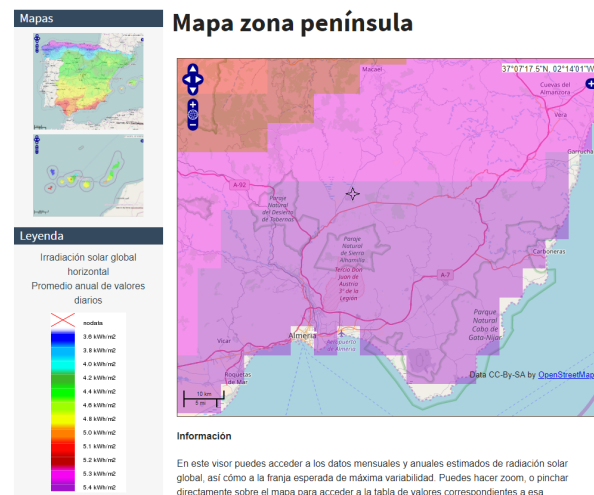


Figura 1.5: MMean solar radiation in Almería

Interactive solar map in Spain⁰ Thanks to the studies in solarr energy storage at ATY-COS, also at PSA, both as thermal and chemical storage, And thanks to studies in solar energy production, it is posible to displace coal as cheap energy in develloping countries [8]

We are interested in the operation in thermal tower plants, in particular CESA-I. They work using an array of mirrors called Heliostatus, which follows the sun and redirects solar radiation to a point in the tower. For CESA-I is an area 2.8m on top of an 80m tower. It also has built a furnace 45m high, and two cavities at 60 and 75 meters. The plant includes two 1.2MW turbines designed to work with steam at 7933K and 10 MPa. [14]

It is easy to find studies about the results in a wide range of sensors and fields. But is dificult to find studies joining events in diferent instruments in a satellite in space or multiple stations in a small geographical area. Nevertheless in different studies. Proposing a method to link different data in different station to manage readings in all the range.

1.2. Objectives/Goals

The main objective is to supply a meterological data analysis platform to be able to take decisions. For this case we study the data from 7 stations measuing solar radiation per area all arround the solar plant. Letting us to work with real data to apply our study. This stations relates to each studying stations in the Solar Plant.

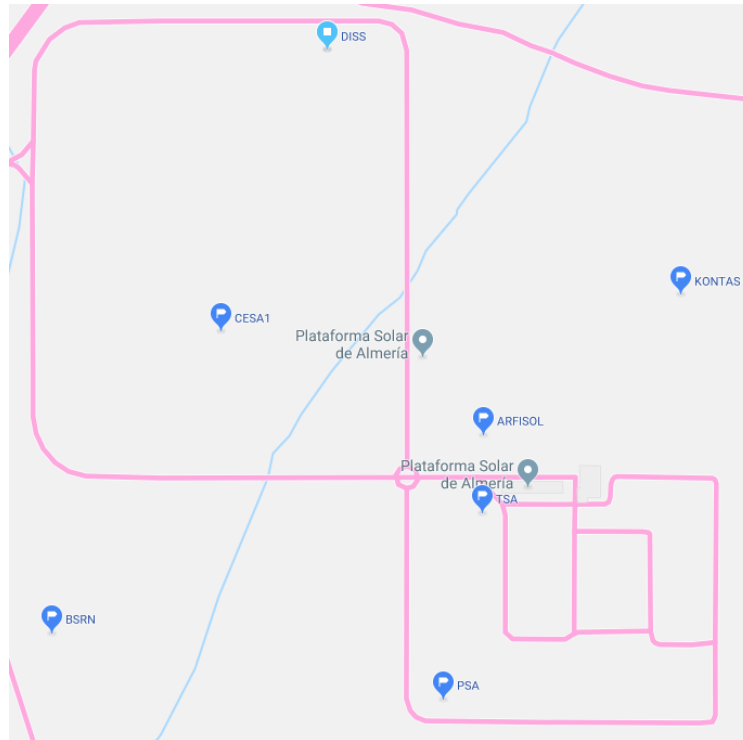


Figura 1.6: Stations in Almería Solar PLant.

We have read sequentially readings from different stations. The objective is to detect the state of the sky and the artifacts to adjust the incidence of solar radiation homogeneously on the main boiler and reduce fatigue.[2]

1.3. Methodology

To achieve our objectives we have made a system to analyse, treat, contextualiza, show and prepare unified data from multiple sources, including time, to evaluate and get conclusions about the state of the weather. We have decided to divide functionality in subsystems as good praxis to allow a correct development and testing, encouraging the creation of a modular system easily reprogramable and expandable

1.4. Structure of the work

- **Chapter 1: Introduction.** Inside this chapter, motivation for this work is explained, along methodology applied and a brief abstract about what is going to be done in each chapter.
- **Chapter 2: State of the art.** Here existing technologies are explained to justify a void in the market for the use of the tool. Some energy production concepts will be explained, with emphasis on solar power to have a foundation needed to follow documentation.
- **Chapter 3: Problem Analysis.** The void before the application is explored and some using spaces are created to proceed to do a solution analysis.

- **Chapter 4: Solution design.** Structure and data relating creation and developing, and further analysis.
- **Chapter 5: Results.** Once the analysis is done, data received is commented with the use we can expect for the project
- **Chapter 6: Conclusions.** After completing all the work, use of data and the tool are analyzed.
- **Chapter 7: Future Work.** In this chapter different uses for the scalability of the tool are proposed. Here we explore what can be scaled up and where we could have gone in a bigger work with different functionality.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Mecanismos de decisión

Dentro de este capítulo vamos a hablar de las tecnologías existentes que pueden proceder a realizar un trabajo parecido y de aquellas herramientas de análisis de datos de estaciones existentes. A la hora de realizar el trabajo no hay una herramienta de análisis que unifique todo lo que se va a realizar, pero vamos a ver una por una las herramientas ya creadas para hacernos una idea de cómo hacer nuestro análisis de datos y nuestra herramienta escalable.

2.1.1. Modelo de desarrollo

2.1.2. Lógica difusa, control difuso y variables lingüísticas

La lógica difusa es una disciplina desarrollada en 1965 por Lotfi A. Zadeh[21]. Similar a la lógica Booleana pero asignando valores en un rango $[0-1]$, permitiendo representar modelos de verdad ni completamente ciertos ni completamente falsos. Adaptándose mejor a la representación de sistemas reales, biológicos o humanos. La lógica difusa aporta ciertas funciones similares a la lógica clásica que permiten un trabajo similar. De esta forma las operaciones incluyen conjunciones y disyunciones, incluyen negaciones y toda la lógica que se deriva de todo esto.

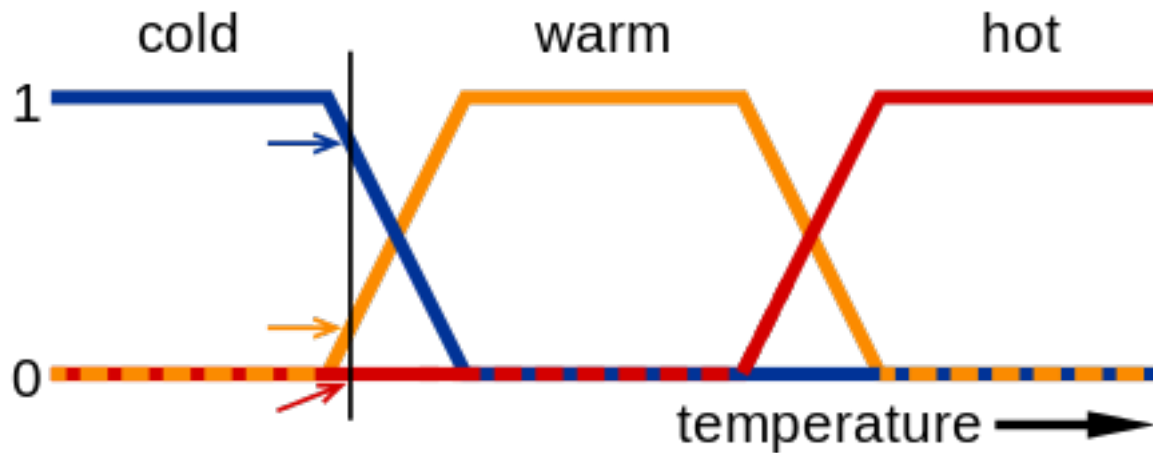


Figura 2.1: Modelo difuso de temperatura

El control difuso toma sus ventajas en la similitud de las reglas con el pensamiento humano [7]. Un Sistema de control difuso puede evaluar el estado del sistema a controlar y tomar decisiones en función de esto. Una forma de modelar sistemas difusos es la de asignar nombres a diferentes condiciones, permitiendo un control mas fácil de entender por seres humanos. Para poder incluir una variable como perteneciente a una etiqueta o no, es necesario declarar un rango al que pertenece cada variable en caso de tomar un valor u otro.

2.1.3. Inteligencia Artificial y mecanismos de decisión

La Inteligencia Artificial es el área de la informática encargado emular la inteligencia natural [11] siendo dividida en cuatro grandes áreas: sistemas que piensan como humanos, Sistemas que actúan como humanos, sistemas que piensan racionalmente y sistemas que actúan racionalmente. Cada una de estas áreas incluye su estudio y sus productos, como el sistema Watson [13], capaz de mejorar el rendimiento de un centro de asistencia, o de ganar a concursos de televisión.



Figura 2.2: Watson participando en el concurso Jeopardy. Watson contó con una base de datos auto generada a partir de múltiples fuentes sin formato, como bibliotecas, wikipedia, y múltiples referencias[5].

Un gran área de aplicación de la inteligencia artificial son los juegos, tanto de mesa como de ordenador. Impulsando el desarrollo desde casos como el DeepBlue hasta AlphaGo. Ambos ordenadores fueron los primeros en ganar a los mayores campeones de Ajedrez y Go respectivamente, ambos ordenadores rompieron la creencia de que no podrían hacerlo y ambos ordenadores impulsaron el desarrollo de herramientas informáticas en múltiples campos.



Figura 2.3: Gary Kasparov, Gran Maestro de Ajedrez, enfrentándose al ordenador Deep Blue en 1997



Figura 2.4: Sistema AlphaGo de Google enfrentándose a Lee Sedol, 9º dan de Gô, en 2016

Otros sistemas de inteligencia artificial se están desarrollando en múltiples áreas: asistentes virtuales, conductores de coches, análisis de comercio, etc.

Sistema experto

Un sistema experto es un sistema de inteligencia artificial con una lógica implementada capaz de tomar decisiones sobre un área de conocimiento. Un sistema experto simula el modo de proceder de un humano en esta tarea. Bien basándose en árboles de decisiones, bien basándose en bases de datos de conocimiento[20]. De esta forma se obtienen sistemas con disponibilidad 100 %, consistentes, eficientes, rápidos y permiten experiencia cara o rara. Entre ellos se incluyen múltiples sistemas de diagnóstico clínico, inspecciones de código, o ayudantes de diseño industrial. Por otro lado los sistemas expertos están limitados a su dominio de trabajo, no aprenden ni tienen sentido común, faltan de confianza y necesitan de expertos reales para configurarlos.

Decisiones

La inteligencia artificial no resuelve la absorción de conocimiento por parte de computadoras, que es una parte importante de la inteligencia. También debe ser capaz de utilizar este conocimiento, pues de otra forma un pozo sería un sistema inteligente capaz de absorber todos los conocimientos que se requiera. Existen numerosos mecanismos de decisión. Cada uno tiene sus desventajas y sus ventajas, de esta forma tenemos algoritmos capaces de evaluar las decisiones que toman y ajustar sus parámetros, o capaces de inferir valores. Entre estos algoritmos se encuentra ID3 para la construcción de árboles de decisiones. BAYES INGENUO como clasificador, o K-MEDIAS como algoritmo de clústering.

2.1.4. Energía Termosolar

A continuación queremos ofrecer una imagen de cómo se encuentra el estado del control de cielos, incidencia solar y los modelos existentes importantes para el control y el aprovechamiento de los recursos naturales.

Centrales Termosolares

Las centrales termosolares[2] son unas instalaciones industriales, en las que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y el uso en un ciclo termodinámico convencional, son capaces de producir la potencia necesaria para mover un alternador para la generación de la energía eléctrica.

Su funcionamiento consiste en el aprovechamiento térmico de la energía solar para transferirla y almacenarla en un medio portador de calor, generalmente agua. Las sales fundidas son utilizadas para almacenar la energía, y entre estas sales cabe destacar el nitrato de potasio, el nitrato de sodio y la última incorporación, el nitrato de calcio.

Campo de Helióstatos

Un helióstato es un dispositivo que consiste fundamentalmente en un espejo animado de un cierto movimiento rotatorio y que sirve para dirigir los rayos del Sol en una determinada dirección, a pesar del movimiento de la Tierra respecto al Sol.

Hay cuatro elementos clave para un helióstato: el espejo o la faceta; la estructura metálica sobre la que se apoya; el sistema de seguimiento solar de doble eje y los cimientos que lo anclan al suelo.

Los helióstatos son un mecanismo para concentrar la energía solar (son esencialmente espejos).

Modelos de cielo claro

Un modelo de cielo claro o de cielo despejado[9] utiliza parámetros como la latitud y longitud del lugar sobre el que se quiere calcular la incidencia solar y un momento en el tiempo. A partir de estos datos es posible calcular la altura y azimut del sol, su dirección y velocidad, la incidencia solar en forma de función del espectro electromagnético en la potencia recibida. Ya que diferentes aspectos de la atmósfera absorberán o reflejarán diferentes longitudes de onda.

2.2. Herramientas

2.2.1. Transol 3

Es un software[19] para el diseño y optimización de sistemas de energía solar térmica. Tiene una base de datos climáticos mundial, base de datos de productos e informes energéticos detallados.

2.2.2. Piensa Solar

Es una herramienta[17] con la que los usuarios de los parques solares pueden leer, analizar y cotejar todos los datos de producción de la planta. Es capaz de tomar los datos desde la producción de las strings hasta la producción total del parque con salida a la red eléctrica, dependiendo de las necesidades del cliente.

2.2.3. Sunny Portal

Es un software[18] que permite la monitorización, gestión y presentación profesionales de plantas fotovoltaicas.

Los operadores de la planta y los instaladores pueden tener acceso en todo momento a los datos más importantes de la planta. Pueden analizar valores de medición y comparar el rendimiento. Lo que le permite detectar y corregir rápidamente pequeñas desviaciones.

2.2.4. Matlab

Matlab[15] es un software que nos ha permitido hacer una correlación de datos mediante sus distintas aplicaciones de análisis de datos.

2.2.5. Octave

Octave[16] es un software Open Source que nos permite analizar la corrección de datos mediante herramientas de análisis matemáticos.

2.3. Propuesta

Se propone crear una herramienta que unifique cálculos de las estaciones solares, de tal forma que no se tenga recurrir a varias aplicaciones para ver los mismos datos. Esta aplicación puede no ser amigable para el usuario, puesto que el objetivo final es realizar un análisis en profundidad de los datos arrojados para dejar una documentación hecha y una herramienta que sea escalable para que cualquier otro investigador de energías pueda recoger esos datos, analizarlos y fabricar algo que le sea de utilidad. Como posteriormente veremos, uno de los trabajos que se pueden realizar con el análisis de detección de horas de sol es poder ver la capacidad que tendría un campo de heliostatos, esto no se ve en los datos tal cual, no hay ninguna aplicación amigable que te lo traduzca. Es trabajo del analista observar los datos y sacar conclusiones o un beneficio para ello. Nuestro trabajo es crear esa herramienta y realizar un primer análisis sacando conclusiones de esos datos para saber que todo funciona correctamente.

Capítulo 3

Análisis del problema

Esperamos de la aplicación determinar las incidencias climatológicas de una zona. Para ello pondremos en contexto todos los datos entre sí y con su variación en el tiempo. Partimos de una serie de datos con los que empezar a trabajar en un entorno real. Se nos han suministrado los datos en formato .XSLX. Para su uso los hemos transformado usando LIBREOFFICE a formato CSV

3.1. Análisis de requisitos

Aquí se va a proponer todo aquello que se le va a pedir a la aplicación resultante, se va a detallar concretamente todos los casos de uso que deben ser satisfechos por las soluciones propuestas, llegando así a un análisis de soluciones que debería tratar cada uno de estos problemas en parte o en totalidad. Los datos se tienen que analizar de forma secuencial, sabiendo que vamos a leer hacia atrás un cierto k número de veces, partimos de esto y la documentación estudiada para proceder en los casos de uso.

3.1.1. Requisitos de la aplicación

Detalle de los requisitos de la aplicación

Recopilación de datos

Todos los datos de diferentes fuentes deben unirse en un solo punto con los de su mismo momento temporal

Caso de uso	Unión de datos
Descripción	Los datos pueden venir de distintos ficheros y es necesario sincronizarlos y unirlos. Para ello se incluye marca temporal
Precondición	Fichero excel con los datos en una columna
Postcondición	La aplicación es capaz de obtener todos los datos de un mismo momento en el tiempo.

Cuadro 3.1: Caso de uso: Unión de datos

Tad editable

A continuación describimos las necesidades del tipo de datos.

Caso de uso	Tipo de datos
Descripción	El tipo de datos debe permitir el acceso a cualquier dato de forma aleatoria
Precondición	Se desea acceder al valor de una variable que puede existir en el TAD
Postcondición	El TAD devuelve el valor seleccionado
Postcondición si fallo	el TAD devuelve un Nulo

Cuadro 3.2: Caso de uso: Tipo de datos, acceso aleatorio

Caso de uso	Tipo de datos
Descripción	El tipo de datos debe permitir añadir datos sin reescribir todo el TAD
Precondición	TAD y dato a entrar con una clave
Postcondición	El TAD ha introducido un par clave-valor en el diccionario sin necesidad de crear una copia de si mismo con el nuevo valor
Postcondición si fallo	La clave se encontraba anteriormente en el diccionario y es sobrescrita

Cuadro 3.3: Caso de uso: Tipo de datos, Formato abstracto

Análisis de datos

Proceso de análisis

Caso de uso	Tipo de datos
Descripción	El tipo de datos debe permitir el acceso a cualquier dato de forma aleatoria.
	Debe permitir almacenar varios tipos de datos, simples y complejos.
	Debe permitir añadir datos sin reescribir todo el TAD.

Cuadro 3.4: Caso de uso: Análisis de datos, datos dinámicos.

Almacén de datos

Posterior almacén de datos y la posibilidad de usarlo como fuente en una pasada posterior.

Caso de uso	Formato de entrada y salida
Descripción	El formato de datos de entrada y salida debe ser ápto y consistente, de forma que la conexión de trabajadores sea inocua
Precondición	Un trabajador puede leer el TAD y obtener los datos que le interese
Postondición	Un trabajador puede leer el TAD y obtener los datos que le interese

Cuadro 3.5: Caption

3.1.2. Esquema general de funcionamiento de la aplicación

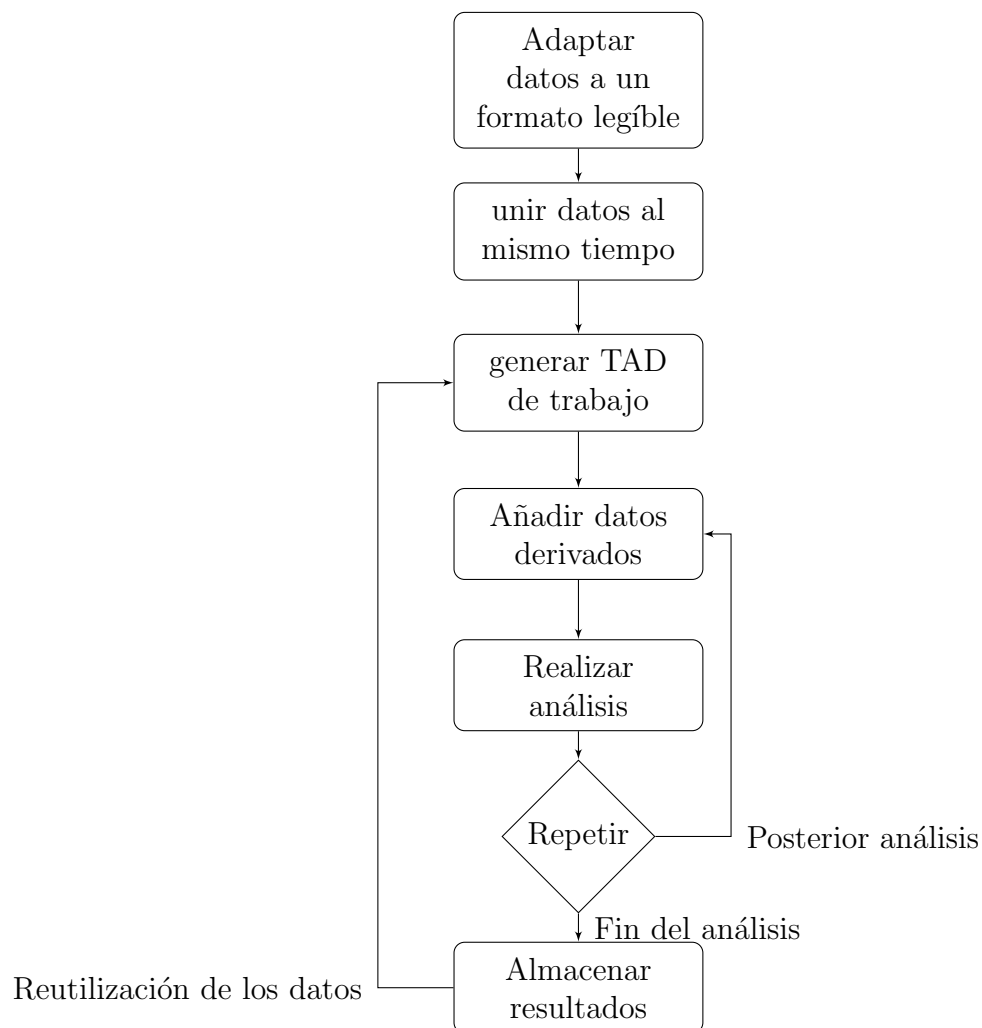


Figura 3.1: Esquema de trabajo

3.2. Análisis de las soluciones

Las dos partes a considerar en la solución son el almacenamiento de los datos, su existencia estática y su almacenamiento entre ejecuciones. Y su existencia dinámica, o cómo estos datos se van transformando desde su entrada hasta su salida.

3.2.1. Formato de los datos

Hemos partido de unos datos en formato XSLX que es como se nos ha hecho llegar. A pesar de que es un estandar abierto ² No es el primer estandar sobre el funcionamiento de ficheros Office, ya que hay otros estándares mas competentes anteriores a la aprobación de éste.

OPEN DOCUMENT FORMAT es un formato abierto ³ Mas maduro y veterano. Sopor-tado en cualquier Sistema operativo que pueda tener que ejecutar nuestra aplicación sin necesidad de licencias. Comparte problema con XSLX ya que ambos están pensados para contener multitud de ficheros en su interior y ocupar poco espacio en detrimento de su usabilidad.

En su lugar hemos optado por utilizar CSV, un formato de datos, que aún ocupando mas en el disco duro, por no estar comprimido. Facilita mucho su integración en cualquier software, ya que cualquier lenguaje de programación incluye funcionalidades explicitas o simples de desarrollar, para trabajar con este formato.

3.2.2. Análisis de los datos

La Solución de referencia para el análisis de datos es Matlab. Ofreciendo soluciones para múltiples necesidades de modelado de sistemas y tratamiento de datos. También es notable su facilidad para mostrar datos de forma clara y anotada. Matlab también es una solución que cuesta \$800 en su licencia anual y \$2.000 en licencia permanente. Está disponible gratis gracias a los convenios entre Mathworks y la Universidad Complutense, pero no deja de ser un precio importante para cualquier empresa. Existe una solución alternativa llamada OCTAVE que ofrece soporte para el código de matlab. Es de código libre y está disponible en prácticamente todos los repositorios de software.

Otra solución ampliamente aceptada para el análisis de datos, especialmente por sus herramientas estadísticas, es R. R es libre y al igual que OCTAVE está ampliamente utilizado en todo el mundo, y goza de prestigio. Pero, al igual que Matlab, es un lenguaje enfocado al tratamiento de datos y la ventaja que puede suponer por este lado la pierde en la flexibilidad de python.

Por último existe PYTHON. No es un lenguaje expresamente dedicado al tratamiento matemático de datos, si no que es un lenguaje de propósito general. Esto implica un uso de matemáticas mas duro que en cualquiera de los lenguajes descritos arriba. Pero a cambio, gracias al hecho de que es un lenguaje multiparadigma, tiene la modularidad de un sistema de objetos, y la facilidad de la enorme librería que puede utilizar. También PYTHON es conocido por su facilidad de uso con series de datos, iteradores, tipos complejos y transformaciones de unos tipos en otros. Todas estas ventajas hacen de Python un gran candidato para nuestro trabajo.

3.3. Solución propuesta

La toma de datos y su procesado no vale para nada si no se obtiene una lectura de ellos. Para la toma de decisiones se ha partido de la siguiente tabla de ejemplos con la que entrenar a nuestro sistema para decidir un estado del cielo. Para ello del conjunto

de los datos (X) calculamos su media \bar{X} , su dispersión media $\sigma(X)$ y el resultado que interpretamos de la lectura

Lectura	\bar{X}	$\sigma(X)$	Resultado
L1:	mínimo	mínimo	Noche
L2:	Máximo	mínimo	Soleado
L3:	medio	mínimo	Nublado
L4:	medio	Máximo	Frente

Figura 3.2: Ejemplos para generar el árbol de decisiones

A partir de la tabla se ha seguido un algoritmo ID3 para generar el árbol de decisiones óptimo mostrado a continuación.

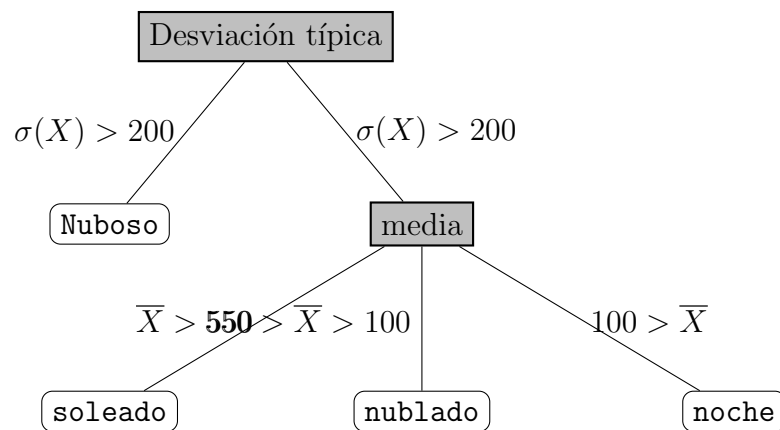


Figura 3.3: Árbol de decisiones implementado en el programa.

3.4. Colaboración

Luis Fernandez Zarzalejo perteneciente al CIEMAT a través de la Planta Solar de Almería ha provisto los datos con los que hemos trabajado. Pertenecientes al periodo 2015-02-01 2015-12-31, así como los metadatos pertenecientes a los sensores, su posición y calibración.

Capítulo 4

Diseño de la solución

4.1. Análisis de las herramientas

Hemos partido de una serie de datos en varios ficheros formato XSLX con todos los datos partidos por meses y estación. El primer paso fue transformarlos a un formato mas manejable, ya que, aunque existen librerías para manejar estos datos en múltiples lenguajes de programación, gracias a que XSLX es un formato abierto. Pero debido a su complejidad y a que no es un formato tan agradable de trabajar, las herramientas disponibles no están demasiado maduras. Por ello, hemos optado por transformar los ficheros a CSV, invirtiendo tiempo en la transformación, y perdiendo eficiencia en disco. A cambio, hemos dispuesto del formato de datos ordenados mas cómodo para trabajar en serie para un programa. Permitiendo cargar líneas de programa una tras otra sin necesidad de mas formato. Una vez en este punto, hemos unido los datos para facilitar su lectura, aunque no es difícil dotar al programa de varias entradas de datos en paralelo, es mas cómodo realizar una sola vez ésta unión. Hemos realizado todo esto con la herramienta LIBREOFFICE.

4.2. Arquitectura software

Como hemos hablado a lo largo del documento, las dos partes importantes de la aplicación son el tratamiento de los datos y su almacenamiento dinámico. Por ello, hemos querido dedicar atención a estas partes por separado. A pesar de que, la sencillez del diagrama estático, permite visualizarlo de una sola vez. El comportamiento dinámico se ajusta a diferentes casos de uso.

4.2.1. Estructura estática de la aplicación

La principal diferencia entre el uso de un fichero de datos y la conexión a una serie de sensores que provean los datos está en la carga de datos que se realiza en el main, fruto del desarrollo por prototipado.[12] A pesar de que poco a poco, muchas funciones realizadas desde el main se han traspasado a los diferentes trabajadores y al TAD. Preservando la división entre los datos y el procesado que viene siendo reflejado en todo el trabajo. Al no esperar una carga desde muchos ficheros, sino que esperamos cargar desde un gran fichero de datos o de multiples sensores, no hemos desarrollado un trabajador para cargar datos de disco.

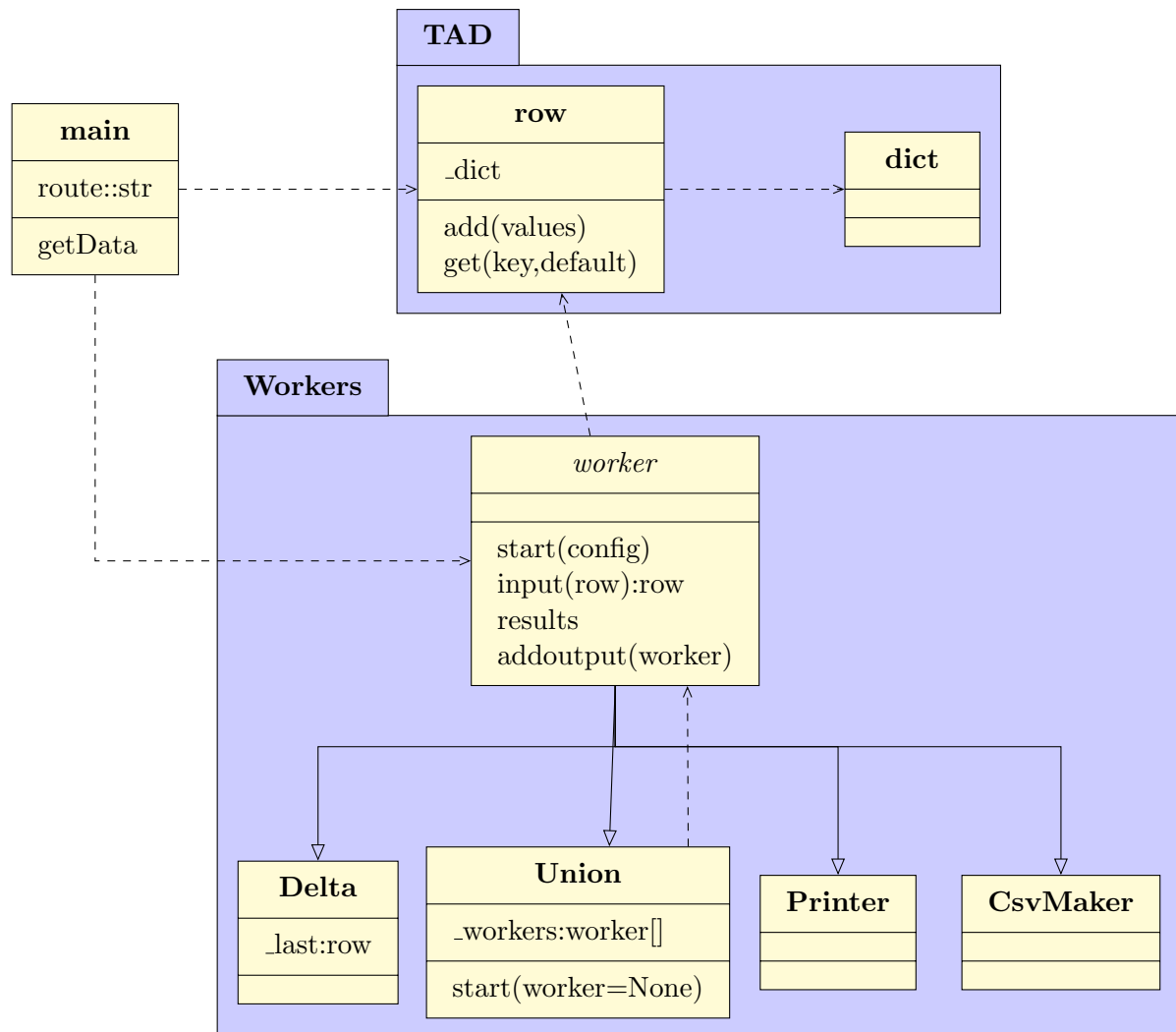


Figura 4.1: Estructura estática

4.2.2. Estructura dinámica del tipo de datos

Pasamos a describir el funcionamiento del tipo de datos. Row simboliza todos los datos leídos en un momento dado y los datos derivados de los primeros. Para evitar la rigidez de un tipo de datos fijo como un array o una estructura, se ha optado por diccionario, el equivalente de Python de las tablas Hash con alguna funcionalidad de recorrido de claves y valores, que aprovechamos para recorrer los datos de manera genérica. Aprovechamos

la funcionalidad genérica de las tablas Hash para poder trabajar con tipos de datos independientemente de cuantos datos haya o cuales sean estos.

El tipo sólo admite la operación generadora, una operación modificadora que añade datos en bloque (incluido un bloque de un dato) y una operación consultora. Programamos los trabajadores para que busquen un tipo de dato y añadan sus resultados. La opción generadora admite una creación por parámetros.

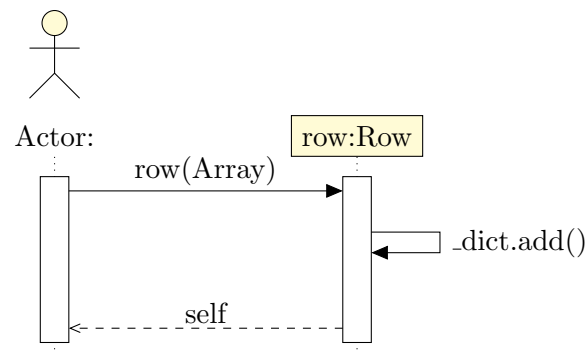


Figura 4.2: Funcionamiento dinámico de creación de un Row

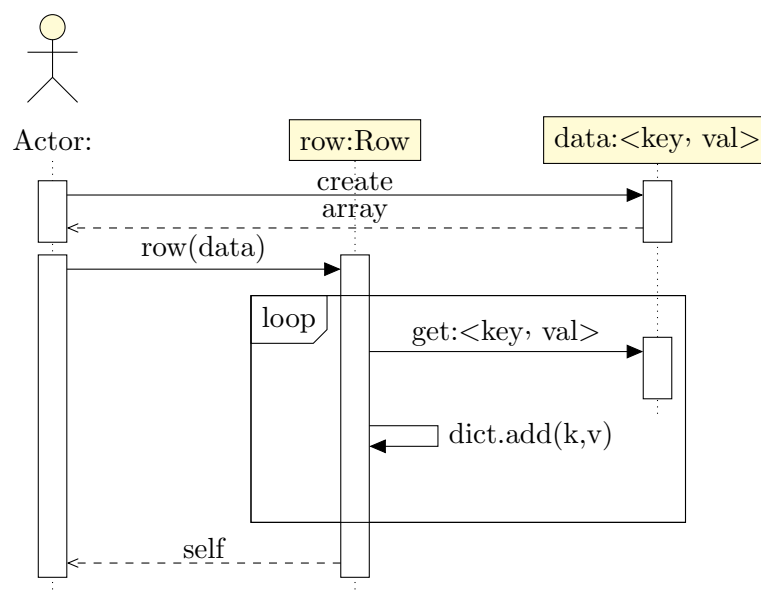


Figura 4.3: Funcionamiento dinámico de añadir a datos a un Row

4.2.3. Estructura de los trabajadores

Los trabajadores son la unidad fundamental de trabajo de la aplicación. Cada trabajador se encarga de obtener una fila de datos y a partir de estos datos, y otros que pueda haber almacenado, añadir algún tipo de dato derivado, o de interactuar con el sistema. Para poder encadenar trabajadores el resultado de un input son los datos para el siguiente trabajador. Aprovechando la facilidad para encadenar trabajadores y de utilizar el tipo de datos, los trabajadores son genéricos y encadenables. Un ejemplo es un trabajador que hemos desarrollado para detectar los valores máximos y mínimos de todas las lecturas.

Este trabajador almacena sus valores temporales en variables locales, compara con la fila, y sin necesidad de modificar ningún dato las devuelve para el siguiente trabajador.

Es importante para nosotros tener una función de reinicio en un trabajador, independientemente de su función de creación. Una suele llamar a la otra para generar una tabla rasa de los datos, pero no tienen por que hacer exactamente la misma función. Es interesante reiniciar un trabajador para poder hacer una llamada a los resultados y empezar de nuevo con los valores que vengan mas adelante y poder obtener resúmenes por días, semanas, meses, o cualquier otro periodo de tiempo necesario.

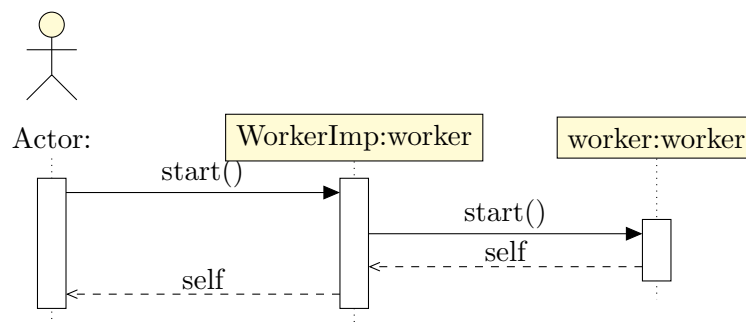


Figura 4.4: Funcionamiento dinámico `Worker.start()`

Una vez un trabajador ha sido creado y está en un estado listo para producir resultados, el funcionamiento de un input de un trabajador, con lógica propia y contenida, es el siguiente.

Hemos descrito a Delta en el diagrama, el trabajador encargado de calcular $\sigma(x)$ para cada variable, ya que es uno de los trabajadores que realizan una función crítica del sistema. Tiene una lógica contenida en si mismo y no difiere mucho del funcionamiento de otros trabajadores implementados.

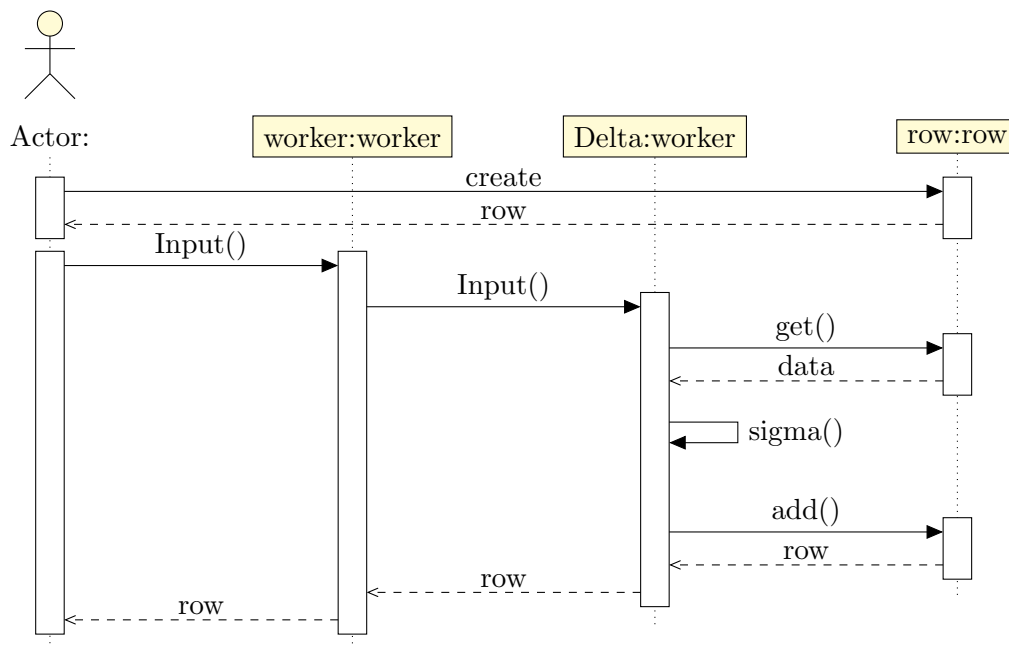


Figura 4.5: Funcionamiento dinámico de un Trabajador con lógica representado por Delta y el cálculo de la desviación típica σ

Union es un trabajador importante. Al contrario que los demás trabajadores, que sólo son capaces de obtener los datos de un lado, añadir información, y pasarla por el otro lado a un único trabajador. Union es capaz de duplicar estos datos a múltiples trabajadores, combinarlos y devolverlos. De esta manera podemos tener una cadena de trabajadores tratando datos y Uniones en puntos intermedios destinados a la visualización, almacenamiento remoto, o debugging. Por ello Union es el único trabajador de los propuestos en el diagrama de clases que utiliza trabajadores.

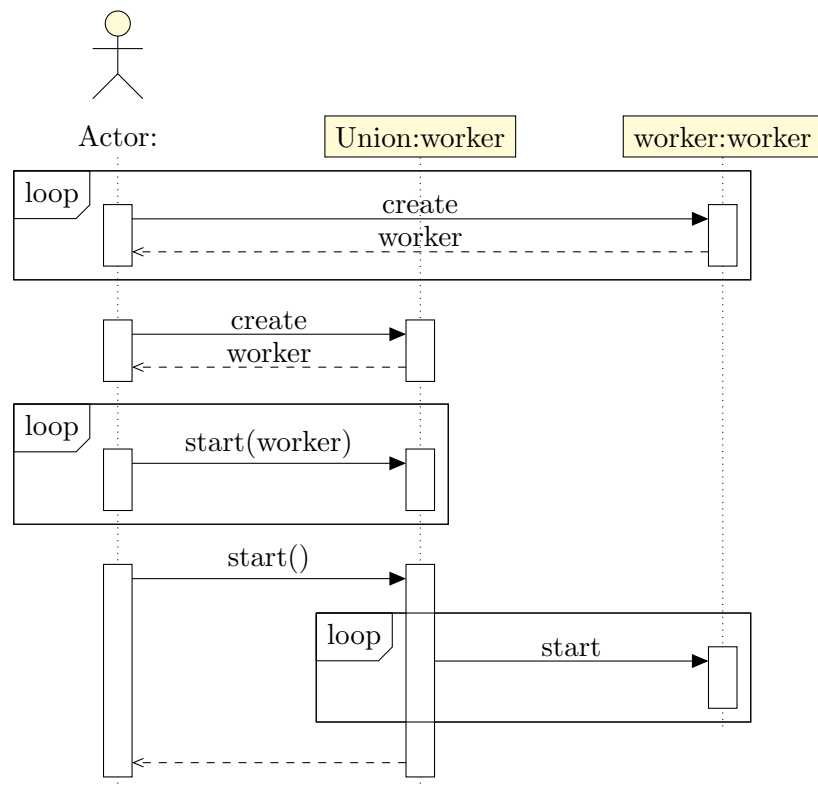


Figura 4.6: Funcionamiento dinámico de Union para agregar múltiples trabajadores
De esta manera un solo trabajador controla a multiples trabajadores, relegándole la lógica de hacerlo

A continuación se muestran el diagrama referido a la orden INPUT(DATA) para una unión de trabajadores. El funcionamiento de RESULT(DATA) es idéntico, llamando a la función correspondiente del trabajador y con una llamada con parámetros por defecto. De esta manera un solo trabajador controla a múltiples trabajadores, relegándole la lógica de hacerlo. De la misma manera se realiza la secuencia de RESULT(DATA) para ordenar a los trabajadores a generar unos resultados de una serie de observaciones indeterminadas

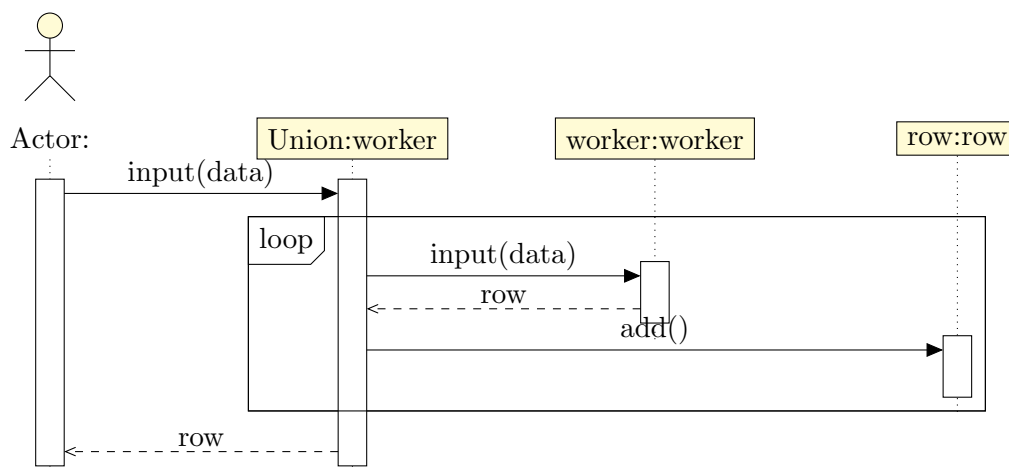


Figura 4.7: Funcionamiento dinámico de Union para mandar inputs a múltiples trabajadores

Capítulo 5

Resultados

Después de ejecutar un análisis de los datos y ordenar una estimación del estado del tiempo, y de recopilar los datos. Hemos observado un documento como el siguiente

```
"2015-03-25 11:58:00",935.16,917.2,963.221,554.6,894.0,891.284,"None","None",75599,138.42920055202305,859.2441666666667,"outcast"
"2015-03-25 11:59:00",924.442,935.2,978.56,535.0,913.0,911.513,"None","None",75600,149.8414739699,866.2858333333334,"outcast"
"2015-03-25 12:00:00",924.079,926.3,975.658,553.0,908.0,915.797,"None","None",75601,142.1496245088252,867.1390000000001,"outcast"
"2015-03-25 12:01:00",926.804,925.1,976.487,471.8,912.0,906.487,"None","None",75602,172.02214108460961,853.1130000000002,"outcast"
"2015-03-25 12:02:00",926.804,922.6,975.658,543.1,914.0,915.231,"None","None",75603,146.0121806179387,866.2321666666667,"outcast"
"2015-03-25 12:03:00",928.802,927.0,976.487,472.9,914.0,915.448,"None","None",75604,172.49232516686712,855.7728333333334,"outcast"
"2015-03-25 12:04:00",929.71,927.2,977.316,458.4,913.0,917.447,"None","None",75605,178.09305551850323,853.8455,"outcast"
"2015-03-25 12:05:00",932.798,928.8,979.182,467.1,916.0,918.808,"None","None",75606,175.66643480440104,857.1146666666665,"outcast"
"2015-03-25 12:06:00",933.162,932.2,983.12,514.2,918.0,920.549,"None","None",75607,159.18989786040305,866.8718333333333,"outcast"
"2015-03-25 12:07:00",934.978,933.8,984.156,490.1,919.0,921.492,"None","None",75608,168.56199820738559,863.9209999999999,"outcast"
"2015-03-25 12:08:00",936.432,934.5,984.156,754.4,918.0,923.158,"None","None",75609,72.14790715144365,908.4409999999999,"sunny"
"2015-03-25 12:09:00",938.793,936.1,988.509,819.5,921.0,926.001,"None","None",75610,50.706322796899144,921.6505000000001,"sunny"
"2015-03-25 12:10:00",937.158,939.4,990.789,691.5,921.0,924.599,"None","None",75611,96.34208651120929,900.741,"sunny"
"2015-03-25 12:11:00",936.795,940.8,988.924,867.7,920.0,923.725,"None","None",75612,35.71836806493573,929.6573333333334,"sunny"
"2015-03-25 12:12:00",940.428,936.3,986.851,990.0,925.0,925.883,"None","None",75613,27.204842808261585,950.7436666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:13:00",939.701,935.4,989.338,1030.5,924.0,926.454,"None","None",75614,39.22998644638223,957.5655,"sunny"
"2015-03-25 12:14:00",943.334,938.9,991.204,952.2,925.0,929.9,"None","None",75615,21.741423333249255,946.7563333333333,"sunny"
"2015-03-25 12:15:00",944.788,942.2,994.313,915.6,927.0,930.395,"None","None",75616,25.166844376856,942.3826666666668,"sunny"
"2015-03-25 12:16:00",941.699,943.5,993.069,986.5,922.0,927.561,"None","None",75617,27.54279713111134,952.3881666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:17:00",940.973,942.3,991.618,957.4,922.0,928.053,"None","None",75618,22.881250473307244,947.0573333333333,"sunny"
"2015-03-25 12:18:00",940.428,942.7,992.24,906.9,922.0,928.202,"None","None",75619,26.726526891211794,938.745,"sunny"
"2015-03-25 12:19:00",939.338,940.8,991.411,887.8,918.0,926.913,"None","None",75620,31.121833957671715,934.0436666666668,"sunny"
"2015-03-25 12:20:00",941.336,939.0,990.789,910.7,922.0,928.241,"None","None",75621,25.4708333337150324,938.6776666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:21:00",940.065,940.8,992.447,974.2,923.0,929.0,"None","None",75622,24.96895520218836,949.9186666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:22:00",938.43,942.2,992.447,707.0,921.0,929.079,"None","None",75623,91.45871281075412,905.026,"sunny"
"2015-03-25 12:23:00",935.705,941.3,991.204,1061.7,920.0,925.936,"None","None",75624,49.95836388572878,962.6408333333333,"sunny"
"2015-03-25 12:24:00",935.523,939.3,988.302,891.0,920.0,924.383,"None","None",75625,29.18782968788343,933.0846666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:25:00",936.795,937.6,989.545,932.0,916.0,924.692,"None","None",75626,23.605025394794396,939.4386666666668,"sunny"
"2015-03-25 12:26:00",943.334,937.4,989.131,624.4,923.0,928.368,"None","None",75627,121.11799046992243,890.9388333333333,"outcast"
"2015-03-25 12:27:00",965.315,937.5,993.691,617.6,430.0,935.791,"None","None",75628,212.64075205959986,813.3161666666666,"outcast"
"2015-03-25 12:28:00",922.444,941.2,998.666,492.2,958.0,935.675,"None","None",75629,172.73891632533187,874.6975000000001,"outcast"
"2015-03-25 12:29:00",961.318,943.1,996.178,342.5,936.0,937.533,"None","None",75630,229.1271494256337,852.7715,"outcast"
"2015-03-25 12:30:00",940.791,941.3,994.106,353.3,922.0,930.186,"None","None",75631,221.96621393237356,846.9471666666667,"outcast"
"2015-03-25 12:31:00",934.252,939.6,989.545,443.9,918.0,922.808,"None","None",75632,186.66185985872065,858.0175,"outcast"
"2015-03-25 12:32:00",932.072,935.0,985.193,322.7,914.0,918.763,"None","None",75633,230.10453431405668,834.6213333333334,"outcast"
"2015-03-25 12:33:00",930.8,932.9,982.498,310.2,913.0,918.013,"None","None",75634,234.10213737911968,831.2351666666667,"outcast"
"2015-03-25 12:34:00",928.802,930.9,980.84,300.0,911.0,916.125,"None","None",75635,237.18787066637702,827.9445,"outcast"
"2015-03-25 12:35:00",931.527,929.1,982.498,311.4,912.0,915.061,"None","None",75636,233.19844775831785,830.2643333333334,"outcast"
"2015-03-25 12:36:00",931.527,928.3,982.913,425.6,912.0,916.806,"None","None",75637,190.99059810251276,849.5243333333334,"outcast"
"2015-03-25 12:37:00",929.347,928.5,981.669,327.0,910.0,915.481,"None","None",75638,227.03434957787772,831.9995,"outcast"
"2015-03-25 12:38:00",927.53,928.7,978.767,659.8,909.0,912.903,"None","None",75639,103.74076419239559,886.1166666666668,"outcast"
"2015-03-25 12:39:00",926.985,925.0,976.28,1004.2,907.0,910.557,"None","None",75640,35.92141235468834,941.8203333333332,"sunny"
"2015-03-25 12:40:00",924.806,923.7,975.658,972.0,887.0,908.888,"None","None",75641,32.10874411883605,932.0086666666667,"sunny"
"2015-03-25 12:41:00",925.351,921.4,974.207,944.0,906.0,909.153,"None","None",75642,23.29673544530953,930.0185000000001,"sunny"
"2015-03-25 12:42:00",926.804,919.8,973.378,937.3,907.0,908.655,"None","None",75643,22.45547445060922,928.8228333333333,"sunny"
"2015-03-25 12:43:00",928.984,919.1,973.378,933.0,907.0,909.333,"None","None",75644,22.18293647841864,928.4658333333332,"sunny"
"2015-03-25 12:44:00",937.703,920.4,971.098,934.5,916.0,915.847,"None","None",75645,19.22155483940985,932.5913333333333,"sunny"
"2015-03-25 12:45:00",964.225,925.7,989.753,938.6,942.0,934.592,"None","None",75646,21.60293941419393,949.145,"sunny"
"2015-03-25 12:46:00",1000.737,945.7,1008.822,948.9,215.0,960.49,"None","None",75647,283.5047864830602,846.6081666666665,"outcast"
"2015-03-25 12:47:00",241.238,840.9,191.94,958.7,629.0,984.688,"None","None",75648,321.61655362541416,641.0776666666667,"outcast"
"2015-03-25 12:48:00",982.572,215.8,185.721,964.3,935.0,198.501,"None","None",75649,380.66042701103333,580.3156666666667,"outcast"
"2015-03-25 12:49:00",942.063,402.4,722.986,969.4,913.0,224.284,"None","None",75650,286.3064115805633,695.6888333333333,"outcast"
"2015-03-25 12:50:00",926.985,733.9,978.145,953.7,906.0,911.903,"None","None",75651,79.02169450097585,901.7721666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:51:00",926.44,926.1,974.829,964.0,904.0,908.075,"None","None",75652,26.641524428772605,933.9073333333332,"sunny"
"2015-03-25 12:52:00",923.534,918.0,971.72,922.7,901.0,906.867,"None","None",75653,22.867881059225613,923.9701666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:53:00",924.442,918.7,971.72,884.9,901.0,906.106,"None","None",75654,27.244850979384886,917.8113333333334,"sunny"
"2015-03-25 12:54:00",923.352,920.5,972.549,970.7,903.0,904.894,"None","None",75655,28.644922577521875,932.4991666666666,"sunny"
"2015-03-25 12:55:00",926.259,921.1,974.621,957.1,903.0,907.207,"None","None",75656,25.989725030074652,931.5478333333334,"sunny"
```

Figura 5.1: Sección del archivo de salida con el resultado resaltado, mostrando el fin del paso de un frente de nubes.

En la única irregularidad detectada, presente en los trabajos futuros, es discernir entre el orto y ocaso y el cielo nublado. Tarea que fuera del horario de orto y ocaso es sencilla.

Basta con comparar la hora y el día del año para saber si el sol no está cruzando el horizonte. Pero si está cruzando el horizonte, es necesario compararlo con un modelo de cielo claro y si este es fiable, asignar un porcentaje de probabilidad de que sea un orto u ocaso, o de que además esté nublado.

Partiendo de los datos que se nos han otorgado hemos realizado la unión sobre la fila. Para facilitar la flexibilidad de los algoritmos ejecutados, se ha parametrizado lo mas posible. De esta forma solventamos el problema de las estaciones sin lecturas, y aseguramos Permitiendo la lectura en caso de no disponer de lecturas de todas las estaciones.

Aquí disponemos de gráficas realizadas con Matlab sobre los resultados.

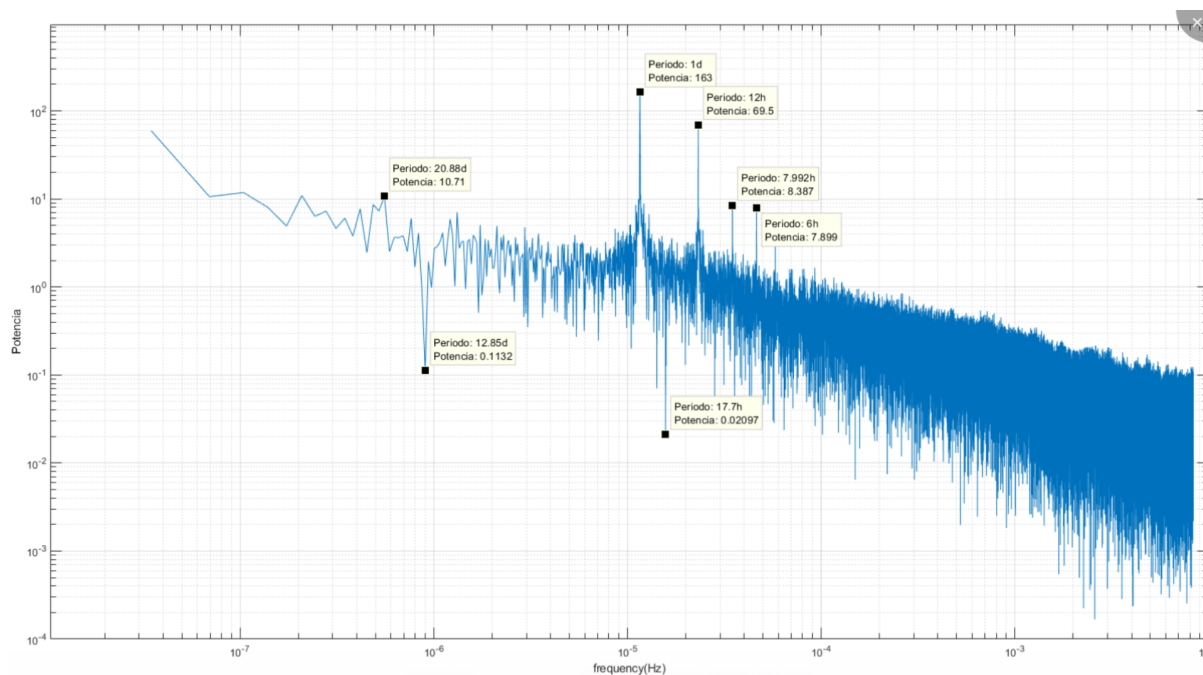


Figura 5.2: Rango de frecuencias(Eje:X) y su potencia (Eje:Y) anual para PSA

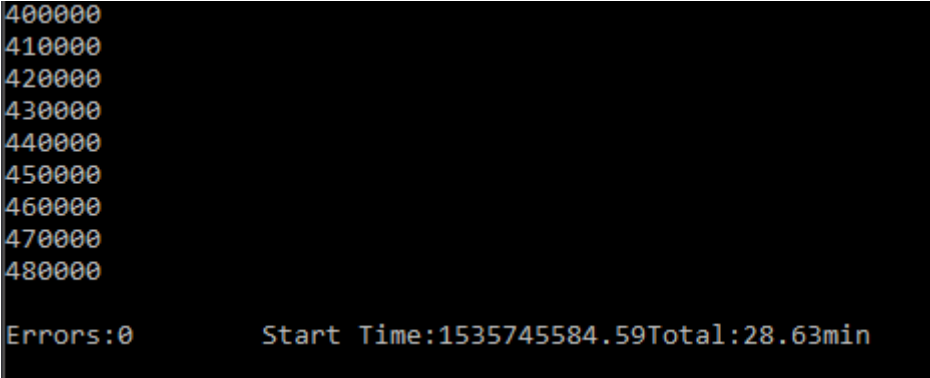
5.1. Discusión de resultados

A partir de los datos generados en formato csv se ha podido comprobar el resultado de las lecturas y sus estimaciones de los ciclos día/noche y del estado del cielo nublado.

IMPORT		VIEW																			
Column delimiters:		Range:		Output Type:		Replace		unimportable cells with										Import Selection			
Comma		A1-W1		Table																	
Fixed Width		Variable Names Row:		Text Options																	
Delimiter Opt.		1																			
		DELIMITERS		IMPORTED DATA		UNIMPORTABLE CELLS		IMPORT													
output2015.csv																					
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T																					
output2015																					
timestamp	ARFISOL	BSRN	CESA	DISS	KONTAS	PSA	TSA1	TSA2	rowNum	sigma	mean	dARFISOL	dBRSN	dCESA	dDISS	dKONTAS	dPSA	dTSA1	dTSA2	abs	
Categorical	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	
1	timestamp	ARFISOL	BSRN	CESA	DISS	KONTAS	PSA	TSA1	TSA2	rowNum	sigma	mean	dARFISOL	dBRSN	dCESA	dDISS	dKONTAS	dPSA	dTSA1	dTSA2	abs
2	2015-02-07...	-0.545	None	-3.319	-6.0	0.0	None	-0.201	2.0	10000	2.59847656...	-1.3441666...	0.18199999...	None	0.0	-0.4000000...	0.0	None	0.05099999...	0.0	6
3	timestamp	ARFISOL	BSRN	CESA	DISS	KONTAS	PSA	TSA1	TSA2	rowNum	sigma	mean	dARFISOL	dBRSN	dCESA	dDISS	dKONTAS	dPSA	dTSA1	dTSA2	abs
4	2015-02-14...	-1.272	-2.9	-2.487	-6.3	9.0	None	-0.805	2.0	20000	4.47947370...	-0.3948571...	0.18100000...	-0.1000000...	0.0	0.0	None	0.0	0.0	7	
5	timestamp	ARFISOL	BSRN	CESA	DISS	KONTAS	PSA	TSA1	TSA2	rowNum	sigma	mean	dARFISOL	dBRSN	dCESA	dDISS	dKONTAS	dPSA	dTSA1	dTSA2	abs
6	2015-02-21...	-2.725	-5.0	-2.695	-5.0	1.0	None	-1.358	2.0	30000	2.51889356...	-1.9682857...	-0.1819999...	-0.0999999...	0.0	1.0	0.0	None	0.05099999...	0.0	7
7	timestamp	ARFISOL	BSRN	CESA	DISS	KONTAS	PSA	TSA1	TSA2	rowNum	sigma	mean	dARFISOL	dBRSN	dCESA	dDISS	dKONTAS	dPSA	dTSA1	dTSA2	abs
8	2015-02-28...	-2.362	-5.0	-2.487	28.7	5.0	None	-1.157	2.0	40000	10.7150060...	3.52771428...	-0.1819999...	-0.0999999...	0.0	-2.1999999...	0.0	None	0.05099999...	0.0	7

Figura 5.3: Representación de las cabeceras al importar un fichero de resultados

Hemos conseguido realizar una lectura-análisis-procesado-escritura de los datos de once meses (mas de 480.000 datos) en 26 minutos, con 0 errores de lectura/escritura.



```
400000
410000
420000
430000
440000
450000
460000
470000
480000

Errors:0          Start Time:1535745584.59Total:28.63min
```

Figura 5.4: Última línea de ejecución de la aplicación

Como resultados reales del trabajo realizado, se ha conseguido hacer:

- Estudio completo manual de las estaciones solares citadas.
- Análisis completo de los datos arrojados.
- Estudio mediante herramientas (Matlab) de los datos citados.
- Scripts de ayuda para la extracción de esos datos.
- Código fuente de análisis que detecta patrones solares sin error.

5.1.1. Proceso de análisis

Durante este proceso, nosotros vamos a obtener ciertos datos de la estación solar y manualmente, tendremos que ver qué significan, qué sacamos de esos datos, para posteriormente, intentar unificar todos estos datos e intentar hacer un software predictivo para automatizar el análisis de estos datos.

Por ello, se ha realizado un proceso de automatización que nos detecta por tiempo los momentos en los que está soleado, esto puede servir perfectamente para hacer un análisis exhaustivo de la potencia del sol y las horas de sol diarias, y una correlación en el tiempo para poder identificar los mayores meses de sol, por ejemplo, para aprovechar la energía de la central al máximo. Esto es uno de los muchos usos que se les puede dar, eso dependerá del analista de energías, pero la detección de esas etapas solares de forma predictiva puede ayudar bastante a su trabajo.

Capítulo 6

Conclusiones

Uno de los factores mas a tener en cuenta con el análisis de resultados es nuestra capacitación para valorarlos. Puesto que los datos solo tienen cabida en su propio contexto valorar la calidad de los datos implica una cualificación que no disponemos. Hemos conseguido realizar una escritura de datos legibles a posteriori por la misma aplicación, logrando la conservación de los datos entre ejecuciones. También hemos escrito diversos módulos con funcionalidades distintas. Ha sido útil para depurar distintas partes de la aplicación, pero también para comprobar el funcionamiento modular del sistema. Entre ellas, hemos desarrollado los siguientes trabajadores que nos han aportado conocimiento en cada etapa del desarrollo.

6.1. Trabajadores

A continuación se relatan conclusiones extraídas de diferentes trabajadores implementados y como sus necesidades han perfilado la aplicación.

6.1.1. Printer

Fue uno de los primeros trabajadores desarrollados de cara a la depuración. Está encargado de mostrar por pantalla todos los parámetros que registra. A ser posible en el mismo orden siempre. Es menos estricto que CsvMaker, pues no debe ser consistente a lo largo de toda su ejecución.

6.1.2. MinMax

Un trabajador que almacena los valores mínimos y máximos de las diferentes lecturas aportadas. Con este trabajador aprendimos a realizar sistemas con lógica y a trasladar elementos de un trabajador al siguiente. También nos permitió la opción de tener trabajadores que realizasen salidas de datos cada bloque de datos y no cada

6.1.3. Union

Asumiendo que son los propios trabajadores que permiten una división vertical de tareas, esto es, cada uno enviando los datos al siguiente. Union permite la división horizontal, manejando diferentes estructuras de salida a partir de una sola estructura de entrada. Este trabajador itera por todos los trabajadores registrados enviando los diferentes mensajes que se le atribuyen a él. Como retorno se espera una fila unión de todos los datos que le han retornado los trabajadores anteriores sin ningún orden particular.

6.1.4. Delta

Delta es un módulo encargado de realizar operaciones matemáticas y adjuntarlas a la fila. Fue el módulo que nos hizo plantearnos el tipo de datos, y la necesidad de realizarlo mutable y flexible

6.1.5. Csv-Maker

Utilizado en la versión final del proyecto. Es un ejemplo de trabajador que interactúa con el sistema, permitiendo almacenar en disco los resultados de los anteriores trabajadores. Para mantenerlo consistente con el resto de la aplicación. Envía los datos al siguiente trabajador, de forma que se pueden seguir encadenando trabajadores detrás de él. Para su correcto funcionamiento es necesario fijar su cabecera desde el principio. Puesto que la primera línea de un fichero csv es el nombre de los campos, y no está preparado para editar la cabecera y modificar los campos de todas las filas anteriores en un tiempo razonable.

6.1.6. Main

El desarrollo se ha producido por prototipados, implica un código menos elegante y menos repartido y encapsulado. Main no está declarado como una clase, pero si que se comporta como una clase. Una filosofía muy pythonica, en la que la encapsulación sólo es un trato de palabra y no una imposibilidad del código, *Porque siempre puedes arreglártelas para acceder a las funciones privadas de una clase* [4]. Por lo tanto, si funciona como una clase, y se utiliza como una clase, y tiene forma de clase: no es tan raro decir que es una clase. Dicho esto, Main ha evolucionado como un Objeto encargado de hacer todo y poco a poco relegando toda la lógica fuera. Aún implementa algunas funciones vestigiales, como discernir entre día y noche. Función que se desechó en favor de una hipotética clase de filtro

6.2. Conclusiones generales

El proyecto puede ser muy difícil de entender, debido a que no tiene una interfaz amigable con el usuario. La aplicación esta diseñada para personas expertas, o que vayan a usar esas herramientas. Es muy complicado unificar en la herramienta los estudios de correlación, media y algoritmos derivados de los datos de una estación solar. Después de haber analizado con éxito los datos recibidos de la estación solar a lo largo del tiempo, se

puede deducir que la herramienta es eficaz y útil en el análisis de los datos. Finalmente, se ha llevado a cabo un análisis por parte de un experto para determinar si los datos son correctos.

Capítulo 7

Trabajo futuros

Una parte importante de este trabajo ha sido relacionar los datos de diferentes estaciones, que en este caso han sido estaciones midiendo el mismo parámetro. Una parte importante de las mediciones, recalcada desde el principio del documento, ha sido poner en común datos de diferentes fuentes. Habiendo tenido la suerte de trabajar con datos ya filtrados de varias estaciones que reportan el mismo parámetro en la misma frecuencia. Es importante para un buen análisis de datos de múltiples fuentes que éstas no tengan que ser síncronas o de la misma naturaleza.

También es importante poder filtrar las medidas o evaluar la veracidad de ellas. Actualmente asumimos que los datos son correctos y los analizamos vengan como venga. Mientras que se puede configurar un trabajador para que elimine las medidas fuera de rango, o añada una evaluación de la fiabilidad de los datos. Una preocupación que hemos tenido ha sido la lectura mal calibrada en el tiempo. Lo cual implica un análisis de los datos mas complejo, ya que las medidas no salen de un rango preestablecido, en su lugar son medidas inconsistentes, que requieren del trabajo de un meteorólogo y Posiblemente dependa de la situación geográfica de la Planta Solar de Almería.

Otro punto fuerte se refiere a los frentes de nubes. Utilizamos las diferencias entre las estaciones para detectar los frentes de nubes. Se puede aproximar por donde ocurre un frente, y se relega esto a líneas futuras. Determinar mejor un frente de nubes implica una mayor resolución de los sensores.

Un punto importante de Python es la capacidad de incluir módulos fuera de los manejos de datos, permitiendo el amplio abanico que ofrece un lenguaje de programación maduro. Entre ellas, está la opción de generar animaciones a partir de los datos para su fácil visualización en una interfaz cómoda de utilizar. También es importante su posible integración con cualquier módulo que ejecute Linux. Lo cual es cada vez mas posible de encontrar en sistemas integrados gracias a la adopción de Raspberry pi y de Arduino.

Es útil considerar diferentes eventos meteorológicos y atmosféricos como Ortos y Ocasos, diferentes nubes, humos, incluso eclipses. Alguno puede requerir de sistemas de medición adicionales. Como muestra la tabla de decisiones incluyendo Ortos y Ocaso.

Lectura	\bar{X}	$\sigma(X)$	\overline{dX}	$ \overline{dX} $	Resultado
L1:	mínimo	mínimo	D	D	Noche
L2:	Máximo	mínimo	D	D	Soleado
L3:	medio	mínimo	D	D	Nublado
L4:	D	Máximo	D	Máxima	Frente
L5:	D	D	positivo	mínimo	Orto
L6:	D	D	negativo	mínimo	Ocaso

Figura 7.1: Ejemplos para el árbol de decisiones
El valor D se interpreta como Don't care

7.1. Proyecto para campo de helióstatos

Como hemos visto anteriormente, la creación de un campo de helióstatos necesita de mucha maquinaria que proyecte la luz sobre un centro para almacenar la energía. La creación tanto de campos fotovoltaicos como de helióstatos es un problema, debido a que se necesita un estudio previo y amplio de las zonas donde sale más o menos rentable poner uno, estos estudios normalmente acaban teniendo un gran impacto ambiental, una huella ecológica, con la herramienta diseñada y un pequeño aparato se podría tener una herramienta predictiva más barata, y en el menor tiempo arrojará datos que indicaran la mejor posición para poner uno de estos campos. Este es uno de los usos muy básicos que se le puede dar y que como trabajo para la aplicación, esta misma debería de usar software predictivo para analizarte en poco tiempo y decirte, si el sitio es óptimo o no, haciendo análisis automático de datos.

Chapter 7

Future Work

A big part in this work has been relating data in different stations. In this case, stations measuring the same parameter at the same rate. An important part in measurements, emphasized from the beginning, has been joining data from different sources. Having the luck of working with filtered, calibrated and synchronized data. It is important for a reliable analysis to be able to use data from unsynchronized data from multiple kinds.

It is also important to correctly filter measurements or evaluate the truth on them. We are assuming our data is right and they get analysed come what may. Although it wouldn't be hard to configure a worker to take apart out of range data or to evaluate reliability. A concern has been bad timing in data, which result in a more complex analysis, as bad timing don't result in an out of range, but inconsistent measurements. This will require a work from a meteorologist and will probably depend on the situation of the Solar Plant

Other strong point are cloud fronts. We use differences between stations to detect cloud fronts. We could estimate where is the front happening and we rely that to future work. This task could need a better resolution.

A strong part of Python is its ability to include modules outside of pure data management, allowing the wide range of capabilities a mature programming language. This includes generating animated gifs for its easy visualization in a comfortable interface. It is also important its integration with any hardware module using Linux. Which are as extended as they can be thanks to Arduino and Raspberry-pi.

It is useful to consider different meteorological and atmospheric events as dusks or dawns. Different kind of clouds, smokes, even eclipses. Some may need additional input system. We have a ID3 Decision table including Dusk and Dawn

Lecture	\bar{X}	$\sigma(X)$	\overline{dX}	$ \overline{dX} $	Result
L1:	minimum	minimum	D	D	Night
L2:	Maximum	minimum	D	D	Sunny
L3:	medium	minimum	D	D	Outcast
L4:	D	Maximum	D	Máxima	Cloudy
L5:	D	D	positive	minimum	Dusk
L6:	D	D	negative	minimum	Dawn

Figura 7.2: Examples for the decision tree D is read as Don't Care

7.1. Heliostatic field Project

As we have seen before, Heliostatic power plants need for powerfull machinery to beam the light to a center to store energy. Creation of both Heliostatic and photovoltaic power-plants can be a problem, due to a previous and thorough feasibility study of which areas may be used to locate a power plant. This studies aren't allways inocuous and may have a considerable impact on studied areas. This damage could be reduced with a cheaper prediction tool and small apparatus to reveal data and knowledge to better locate power plants. This is a basic functionality that can be done with a tool as the one presented and can be done as an expanding project. Using prediction software to analyse in a short period of time to know if a location is optimal.

Bibliografía

- [1] García-Segura A. et al. Durability studies of solar reflectors, <https://core.ac.uk/download/pdf/77229003.pdf>. 2016.
- [2] Ramón García Marín Cayetano Espejo Marín. La energía termosolar en España, <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC1010220081A/30709>. 2010.
- [3] Sven Teske Georg Brakmann, Rainer Aringhoff. Energía solar termoelectrica 2020 pasos firmes contra el cambio climático, <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/solar-termoelectrica-2020-pas.pdf>. 2004.
- [4] <https://pythonprogramminglanguage.com/encapsulation/>. Encapsulation python.
- [5] <https://www.nytimes.com/2011/02/17/science/17jeopardy-watson.html>. Computer wins on ‘jeopardy!’: Trivial, it’s not.
- [6] David Pacios Izquierdo. Plantillas para trabajos profesionales tfg, tfm. 2018.
- [7] Chuen Chien Lee. Fuzzy control systems: Fuzzy logic controller, part ii. 1990.
- [8] Alina Mikhailovna Gilmanova Cavalcante Luis Enrique Vieira de Souza. Concentrated solar power deployment in emerging economies: The cases of China and Brazil, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211630675X>. 2017.
- [9] Ana Belén Medina Maldonado. Comparación de modelos paramétricos de cielo despejado. 2017.
- [10] ONU. Renewable energy policy network for the 21st century, <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/?p=1619>.
- [11] Peter Norvig Stuart Russell. Artificial intelligence: A modern approach. 2009.
- [12] Joseph E. Urban. Software prototyping and requirements engineering. 1992.
- [13] <https://www.ibm.com/watson/stories/creditmutuel/>. Watson stories.
- [14] <https://www.psa.es/es/instalaciones/receptor/cesa1.php>. Cesa-1.
- [15] Web. Matlab, <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [16] Web. Octave, <https://www.gnu.org/software/octave/>.

- [17] Web. Piensasolar, http://www.saitim.com/?page_id=204.
- [18] Web. Sunnyportal, <https://www.sma.de/es/productos/monitorizacion-y-control/sunny-portal.html>.
- [19] Web. Transol, <https://aiguasol.coop/es/energy-software/transol-3-diseno-sistemas-solares-termicos/>.
- [20] Yogyata Jain Yogesh Kumar. Research aspects of expert systems. 2012.
- [21] Loft A. Zadeh. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: Selected papers. 1996.

Este documento esta realizado bajo licencia Creative Commons “Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional”.

